

彭加喜, 徐向荣, 刘金铃, 等. 红海湾海产品体内重金属水平及人体暴露风险评估[J]. 生态科学, 2014, 33(5): 825–831.

PENG Jiayi, XU Xiangrong, LIU Jinling, et al. Heavy metal levels in seafood from Honghai Bay and its human dietary exposure assessment[J]. Ecological Science, 2014, 33(5): 825–831.

红海湾海产品体内重金属水平及人体暴露风险评估

彭加喜^{1,2}, 徐向荣^{1,*}, 刘金铃¹, 丁振华³, 孙凯峰¹, 靳明华³, 张再旺^{1,2}, 王帅龙^{1,2}

1. 中国科学院南海海洋研究所热带海洋生物资源与生态重点实验室, 广州 510301

2. 中国科学院大学, 北京 100049

3. 厦门大学环境与生态学院, 厦门 361005

【摘要】分析了广东红海湾13种海产品肌肉组织中8种重金属铬(Cr)、钴(Co)、镍(Ni)、铜(Cu)、锌(Zn)、砷(As)、镉(Cd)和铅(Pb)的浓度水平, 并利用单因子污染指数法(P_n)评价其污染状况。利用美国环保署提出的人体健康风险评估模式进行人体重金属暴露风险评估, 同时利用金属污染指数(X_{MPI})研究生物体的重金属富集效应。结果显示: 红海湾生物总体污染水平较低, Cr在软体类生物中属于轻度污染; Ni在甲壳类生物中属于轻度污染; Cu和Zn在鱼类中属于轻度污染; Cr在鱼类和甲壳类中都属于中度污染。口虾蛄 *Oratosquilla oratoria* 对Cd、Cu、Zn存在潜在的严重积累作用, 且As含量超过了食用的参考剂量, 需引起重视。人体暴露风险评估表明, 食用红海湾海产品(口虾蛄除外)对人体潜在的健康风险相对较低, 建议食用海产品量控制在25 g·d⁻¹以内。

关键词: 红海湾; 重金属; 风险评估; 富集效应

doi:10.14108/j.cnki.1008-8873.2014.05.001 中图分类号:X55 文献标识码:A 文章编号:1008-8873(2014)05-825-07

Heavy metal levels in seafood from Honghai Bay and its human dietary exposure assessment

PENG Jiayi^{1,2}, XU Xiangrong^{1,*}, LIU Jinling¹, DING Zhenhua³, SUN Kaifeng¹, JIN Minghua³, ZHANG Zaiwang^{1,2}, WANG Shuailong^{1,2}

1. Key Laboratory of Tropical Marine Bio-resources and Ecology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3. College of the Environment & Ecology, Xiamen University, Xiamen 36100, China

Abstract : Concentrations of 8 kinds of heavy metals including Cr, Co, Ni, Cu, As, Zn, Cd and Pb in the muscles of thirteen seafood from Honghai Bay were determined. Single factor pollution index (P_n) was applied to evaluate the contamination status of these organisms. Human health risk assessment model by US EPA was employed to evaluate the human dietary exposure. Metal pollution index (X_{MPI}) was used for the enrichment effect of heavy metals on seafood. The results showed that the level of heavy metal in the marine organisms from Honghai Bay was low. Ni in crustacean and Cu, Zn in fish and Cr in mollusk were slightly polluted while Cr in fish and crustacean was moderately polluted. It should be highlighted that *Oratosquilla oratoria* showed a strong accumulative capacity for Cu, Zn and Cd. The level of As was beyond the reference dose. The results of human exposure risk assessment indicated that consumption of seafood (except *Oratosquilla oratoria*) would not pose a risk to humans. Suggested daily amount of seafood consumption should be limited to be less than 25 g·d⁻¹.

Key words: Honghai Bay; heavy metal; risk evaluation; enrichment effect

收稿日期: 2013-12-02; 修订日期: 2014-01-06

基金项目: 中国博士后科学基金(2012M510201); 中国科学院百人计划资助项目

作者简介: 彭加喜(1989—), 男, 硕士研究生, 从事海洋环境污染治理研究

*通信作者: 徐向荣, E-mail: xuxr@scsio.ac.cn

1 前言

海湾是陆、海相互作用以及人类干扰活动的强烈承受区域,是环境变化的敏感带和生态系统的脆弱带,因而海湾生态系统是海洋生态学家和环境学家尤为关注的区域,也是可持续发展研究的优先区域^[1]。随着我国城镇化、工业化和农业化的迅速发展,大量污染物通过河流进入海湾,海湾生态系统面临严峻的考验与挑战。红海湾位于广东省汕尾市海丰县和惠东县南部,东连碣石湾,西邻大亚湾,海域面积约 300 km²,中部水深 12—18 km,湾底较平坦,泥沙底^[2]。红海湾渔业资源丰富,海水养殖业发达,已被列为广东省半封闭型海湾规模化养殖试验区。养殖类型主要为滩涂贝类养殖、水池养殖和鲍鱼养殖,湾中部为浅海牡蛎养殖区^[3-4]。随着红海湾沿海养殖业的大规模发展,其水域环境质量及海洋生物可能会受到影响。

重金属污染具有持久性、可积累性、不可降解性等特点。重金属可通过食物链直接或间接地进入人体,最终对人体健康产生影响,如日本发生的水俣病就是由于食用了含有汞污染的鱼类而引起的。随着人们对环境污染的高度关注,海产品中重金属污染水平调查以及人体暴露风险评估在海湾环境研究中也越来越受重视。关于海湾中重金属的污染研究日益增多^[5-9],过往海湾重金属的污染研究主要集中在含量分布、沉积、迁移转化积累机制、元素赋存形态、生物毒性分析以及污染现状生态风险评价等领域^[5,9-11]。关

于红海湾重金属的研究也仅仅局限在海水和沉积物^[12-13],不能准确反映其在生物体的富集情况及人体暴露风险。因此,本研究以红海湾为研究区域,分析 13 种常见海产品(鱼类、甲壳类、软体类)中 8 种重金属(Cr、Co、Ni、Cu、Zn、As、Cd、Pb)的污染水平,对这些海产品中重金属含量进行污染评价,并评估其人体食用暴露风险。

2 材料与方法

2.1 样品采集

生物样品于 2012 年 8 月在红海湾水域用拖网采集,样品基本信息如表 1 所示。样品采集后经超纯水清洗用聚乙烯袋装好置于冷藏箱中,立即运回实验室冷冻保存至分析。

2.2 样品分析

生物样品解冻后,用自来水冲洗,再用去离子水(Milli-Q, 18.2 Ω)洗净、晾干;用不锈钢解剖刀取样品的肌肉组织 10—20 g 装入聚乙烯自封袋中,称量湿重。样品经冷冻干燥后,用不锈钢样品粉碎机研磨,过 200 目筛并混合均匀,装入聚乙烯袋中冷冻保存。

生物样品重金属的分析方法见参考文献[14],称取 0.2—0.3 g 样品至 15 mL 试管中,加入 5 mL 浓硝酸(65%),在电热板 80 ℃下消解 24 h 直至澄清。冷却后,用去离子水将溶液稀释至 15 mL,取 1 mL 稀释液定容至 10 mL,过 0.45 μm 滤膜,待测。重金属含量采用电感耦合等离子体质谱仪 ICP-MS(7700X, 美国安捷伦公司)分析。仪器的最终数值取 3 次读

表 1 红海湾海产品基本信息
Tab. 1 Basic information of biota from Honghai Bay

中文名	拉丁名	食性	数量	种类	体长/cm	体重/g
尖尾鳎	<i>Uroconger lepturus</i>	肉食	7	鱼类	20.96±1.96	5.65±0.88
皮氏叫姑鱼	<i>Johnius belengerii</i>	肉食	6	鱼类	16.60±0.44	16.88±0.90
大鳞舌鲷	<i>Cynoglossus melampetalus</i>	肉食	6	鱼类	14.72±1.41	9.96±2.28
白姑鱼	<i>Argyrosomus argentatus</i>	肉食	5	鱼类	11.52±0.16	8.04±0.85
黄斑篮子鱼	<i>Siganus oramin</i>	植食	5	鱼类	11.98±0.41	6.69±0.68
龙头鱼	<i>Harpodon nehereus</i>	肉食	6	鱼类	15.93±0.56	9.28±0.63
口虾蛄	<i>Oratosquilla oratoria</i>	肉食	5	甲壳类	12.95±0.54	7.65±0.54
近缘新对虾	<i>Metapenaeus affinis</i>	杂食	6	甲壳类	14.32±0.18	7.98±0.33
哈氏仿对虾	<i>Parapenaeopsis hardwickii</i>	杂食	6	甲壳类	13.30±1.43	10.29±0.43
红星梭子蟹	<i>Portunus sanguinolentus</i>	肉食	5	甲壳类	—	6.96±1.27
杜氏枪乌贼	<i>Loligo duvaucelii</i>	肉食	8	软体类	16.12±0.62	29.39±2.29
前鳞骨鲻	<i>Osteomugil ophuyseni</i>	杂食	5	鱼类	13.24±0.40	7.66±0.46
蓝圆鲹	<i>Decapterus maruadsi</i>	肉食	7	鱼类	16.46±0.44	17.60±1.78

注:表中体长及体重均为“Mean ± SE”;“—”表示未测;体重用湿重表示。

数的平均值与标准误。设置试剂空白和生物样品标准物质 TORT-2 (NRCC, 加拿大)的消解液并采用平行样进行质量控制。标准参考物质回收率 Cr 为 132.6%, Co 为 87.1%, Ni 为 76.9%, Cu 为 94.5%, Zn 为 84.8%, As 为 86.9%, Cd 为 89.8%, Pb 为 125.2%; 平行样相对标准偏差<10%。

2.3 海产品体内重金属富集

由海产品体内重金属残留量和海水中重金属浓度可以计算得出各类生物对重金属的富集系数。同时本研究采用金属污染指数(X_{MPI})来比较不同生物体之间所检测重金属总含量的差异性^[15]。 X_{MPI} 的计算公式如下:

$$X_{MPI} = \sqrt[n]{C_1 \times C_2 \times C_3 \cdots C_n}$$

其中, C_n 表示样品中污染因子 n 的浓度。

2.4 海产品中重金属污染程度评价方法

为评价红海湾海产品体内重金属的污染程度, 本文采用单因子污染指数法来评价海产品体内的重金属污染状况。单因子污染指数法的计算公式为:

$$P_n = \frac{C_n}{S_n}$$

其中, P_n 表示污染因子 n 的质量分数, C_n

表示污染因子 n 的浓度水平, S_n 表示污染因子 n 的评价标准(采用海洋生物污染评价标准)^[16]。当 $P_n < 0.2$ 时, 表明重金属处于正常的背景值范围; 当 $0.2 < P_n < 0.6$ 时, 表明处于轻污染状态; 当 $0.6 < P_n < 1.0$ 时, 为中度污染水平; $P_n > 1.0$ 时, 则为重度污染。

2.5 人体饮食暴露风险评估方法

参照世界卫生组织(WHO)和联合国粮食与农业组织(FAO)下的食品添加剂联合专家委员会(JECFA)^[17]和美国环境保护局(USEPA)^[18]制订的重金属周可摄入量(provisional tolerable weekly intake, PTWI), 日最大耐受摄入量(provisional maximum tolerable daily intakes, PMTDI), 每日耐受摄入量(tolerable daily intakes, TDI)以及重金属参考剂量(reference dose, RfD), 进行人体暴露风险评估。本文评价的每日重金属暴露剂量(E_m)可以参考美国环境保护局(USEPA)^[19]的计算公式:

$$E_m = (C_m \times IR) / BW$$

其中, E_m 表示摄食海产品的每日重金属暴露量 $[\mu\text{g} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}]$; C_m 表示海产品体内重金属的含量 $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}, \text{湿重})$; IR 表示海产品的日常摄入量 $(\text{g} \cdot \text{d}^{-1})$; BW 表示目标人群的平均体重(kg)。

2.6 统计分析

生物样品中重金属含量以干重归一化后的浓度

表示 $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$ 。统计分析采用 SPSS 20.0 进行分析, 显著性水平以 $P < 0.05$ 表示。图形采用 Origin 8.0 及 Sufer 8.0 进行制作。

3 结果与讨论

3.1 红海湾海产品中重金属的分布特征

红海湾 13 种海产品(尖尾鳎、皮氏叫姑鱼、大鳞舌鳎、白姑鱼、黄斑篮子鱼、龙头鱼、口虾蛄、近缘新对虾、哈氏仿对虾、红星梭子蟹、杜氏枪乌贼、前鳞骨鲑、蓝圆鲀)样品中重金属(Cr、Co、Ni、Cu、Zn、As、Cd、Pb)的含量见表 2。不同生物体内重金属含量存在一定的差异, 甲壳类和软体类生物体内各种重金属含量顺序一致, 依次为: $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{As} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Cd} > \text{Pb} > \text{Co}$; 鱼类为 $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{As} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{Co}$ 。Zn 和 Cu 的含量高于其他重金属, 可能是由于它们是生物体生长发育的必须元素。单因素统计分析结果表明: (1) Cr、Ni、Pb 在鱼类、甲壳类及软体类中的含量差异不显著($P=0.89$, $P=0.57$, $P=0.63$); (2) 甲壳类生物体内 Co 含量显著高于鱼类和软体类生物($P<0.05$), 鱼类与软体类生物中 Co 含量无显著差异($P=0.74$); (3) 鱼体中 Zn 和 Cd 含量显著低于软体类和甲壳类生物($P<0.05$), 甲壳类与软体类生物间两种重金属 Zn 及 Cd 含量无显著差异($P=0.13$, $P=0.34$), 这可能与不同生物对重金属的富集能力大小有关; (4) Cu 与 As 在鱼类、甲壳类及软体类生物中的含量存在显著差异($P<0.05$), 其大小顺序为甲壳类>软体类>鱼类。

3.2 不同生物对重金属的富集作用

重金属的富集系数由生物体内重金属的含量除以海水中相对应重金属的含量计算得出。本文采用已有研究对红海湾表层海水中 Cu、Pb、Zn、Cd 的平均值(分别为 2.4、0.8、9.4、0.2 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)计算相对应重金属的生物富集系数, 其结果如表 3 所示。不同种类生物对重金属的富集能力差别较大。有研究表明, 水生生物对某种污染物的富集系数大于 1 000 可认为有潜在的严重富集问题^[10]。Zn 与 Cu 可能作为生物体的必须元素易于被吸收, 所以富集系数较高。而口虾蛄、红星梭子蟹及杜氏枪乌贼对 Cd 的富集系数也高于 1000, 可能与生物产生金属结合蛋白的能力有关。生物积累 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cd^{2+} 的容量与其产生金属结合蛋白的能力成正比。就种类来看, 口虾蛄对 Cu、Zn 和 Cd 的富集能力最强, 尖尾鳎对 Pb 的富集

表 2 红海湾海产品体内重金属含量($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 干重)
Tab. 2 The concentrations of heavy metals in seafood from Honghai Bay ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ dry weight)

种类	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
尖尾鲷	4.38 (4.04—4.86)	0.10 (0.08—0.14)	7.89(5.32—16.44)	21.33(17.43—30.24)	72.66(69.51—94.59)	16.15(14.49—21.47)	0.15(0.10—0.23)	1.12(0.95—4.74)
皮氏叫姑鱼	4.35(3.93—4.45)	0.05(0.04—0.06)	4.11(3.11—7.08)	17.47(15.68—21.04)	30.41(24.21—34.30)	8.12(4.50—17.74)	0.03(0.02—0.09)	0.20(0.17—0.25)
大鳞舌鲷	4.00(3.81—4.44)	0.06(0.03—0.08)	5.06(2.11—9.32)	18.85(16.49—23.87)	46.54(23.99—73.84)	21.35(20.00—24.65)	0.17(0.08—0.26)	0.27(0.19—1.02)
白姑鱼	4.17(4.00—4.65)	0.05(0.04—0.06)	4.39(2.90—15.89)	20.38(18.67—22.95)	33.04(29.53—35.85)	11.42(9.98—11.99)	0.14(0.09—0.23)	0.43(0.24—0.65)
黄斑篮子鱼	4.32(3.05—4.58)	0.18(0.14—0.21)	0.82(0.57—0.87)	16.36(14.77—18.54)	32.49(31.33—41.43)	5.42(4.13—6.71)	0.07(0.06—0.13)	0.30(0.26—0.42)
龙头鱼	4.49(4.18—4.79)	0.08(0.06—0.10)	0.88(0.70—1.21)	17.65(14.75—20.05)	49.86(38.71—58.85)	9.19(7.71—13.76)	0.11(0.05—0.22)	0.45(0.31—2.59)
前鳞骨鲻	4.20(4.00—4.68)	0.05(0.04—0.05)	0.66(0.43—0.89)	18.63(16.09—20.61)	40.12(28.08—44.99)	4.35(2.71—6.87)	0.06(0.03—0.08)	0.27(0.25—0.38)
蓝圆鲹	3.86(3.32—4.29)	0.06(0.05—0.09)	2.21(1.77—4.50)	21.17(18.48—22.55)	39.12(32.99—55.33)	7.65(6.70—10.28)	0.15(0.11—0.18)	0.20(0.15—0.52)
近缘新对虾	4.05(3.18—4.80)	0.08(0.06—0.10)	3.42(2.90—6.74)	38.85(36.15—55.13)	70.77(60.20—86.42)	24.99(21.89—38.10)	0.14(0.07—0.27)	0.23(0.16—0.26)
哈氏仿对虾	4.35(4.02—4.43)	0.17(0.06—0.28)	1.15(0.69—10.96)	42.08(39.69—46.97)	66.61(55.08—119.26)	16.52(15.69—23.85)	0.26(0.15—0.32)	0.53(0.27—1.02)
红星梭子蟹	4.36(3.93—4.59)	0.18(0.16—0.36)	2.13(0.81—4.93)	53.36(35.45—58.27)	80.41(54.13—113.24)	21.11(10.17—23.03)	1.27(0.81—1.31)	0.68(0.39—0.78)
口虾蛄	4.43(4.22—4.67)	0.35(0.23—0.35)	2.02(1.38—6.09)	103.50(71.04—146.33)	99.35(94.34—111.79)	54.58(41.95—56.47)	4.45(3.04—5.73)	0.23(0.19—0.34)
杜氏枪乌贼	4.29(3.89—4.57)	0.10(0.05—0.13)	3.05(1.99—6.73)	45.63(37.57—53.09)	68.72(64.17—86.42)	17.62(15.45—19.07)	0.97(0.77—1.34)	0.45(0.22—1.00)
鱼类	4.20(3.05—4.86)	0.06(0.03—0.21)	3.11(0.43—16.44)	18.91(14.75—30.24)	39.12(23.99—94.59)	9.26(2.71—24.65)	0.11(0.02—0.26)	0.30(0.15—4.74)
甲壳类	4.34(3.18—4.80)	0.18(0.06—0.46)	3.03(0.69—10.96)	45.85(35.45—146.33)	80.24(54.13—119.26)	23.00(10.17—56.47)	0.32(0.07—5.73)	0.30(0.16—1.02)
软体类	4.29(3.05—4.86)	0.10(0.05—0.13)	3.09(0.43—16.44)	45.63(37.57—53.09)	68.72(64.17—86.42)	17.61(15.45—19.07)	0.97(0.77—1.34)	0.45(0.22—1.00)

注：生物的重金属含量用中值及浓度范围表示。

能力最强。黄斑篮子鱼对 Cu 的富集能力最弱, 皮氏叫姑鱼对 Pb, Zn 和 Cd 的富集最弱, 同时皮氏叫姑鱼对 Cu 的富集能力也相对较弱。尖尾鳎、皮氏叫姑鱼、龙头鱼以及前鳞骨鲇对重金属的富集大小依次为 Cu>Zn>Pb>Cd。其余 9 种生物(大鳞舌鲷、白姑鱼、黄斑篮子鱼、口虾蛄、近缘新对虾、哈氏仿对虾、红星梭子蟹、杜氏枪乌贼和蓝圆鲀)对重金属的富集大小依次为 Cu>Zn>Cd>Pb。

表 3 红海湾生物对重金属的富集系数
Tab. 3 Heavy metal enrichment factors for organisms from Honghai Bay

生物类别	Cu	Pb	Zn	Cd
尖尾鳎	2128	479	1872	185
皮氏叫姑鱼	1696	58	732	52
大鳞舌鲷	2246	145	1382	244
白姑鱼	1842	113	757	165
黄斑篮子鱼	1269	75	674	75
龙头鱼	833	115	595	66
口虾蛄	9485	68	2380	4919
近缘新对虾	4085	64	1833	174
哈氏仿对虾	4084	168	1922	286
红星梭子蟹	4457	171	1890	1240
杜氏枪乌贼	4956	159	2035	1314
前鳞骨鲇	1765	83	939	63
蓝圆鲀	2154	78	1143	186

重金属污染指数如图 1 所示。各种生物的 X_{MPI} 值均大于 1.0, 其中口虾蛄的值最高(6.37), 说明其积累重金属能力最强, 这与前文提到的根据海水重金属含量计算得到的富集系数结果相类似。前鳞骨鲇的富集能力最弱(1.28)。各种生物富集重金属能力的大小顺序为: 口虾蛄>红星梭子蟹>杜氏枪乌贼>尖尾鳎>哈氏仿对虾>近缘新对虾>大鳞舌鲷>白姑鱼>龙头鱼>蓝圆鲀>黄斑篮子鱼>皮氏叫姑鱼>前鳞骨鲇。

表 4 红海湾生物重金属污染评价
Tab. 4 Assessment of heavy metal pollutions from Honghai Bay

种类		Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
鱼类	S_n	1.5	5.5	20	40	0.6	2.0
	P_n	0.61	0.17	0.21	0.25	0.04	0.06
甲壳类	S_n	1.5	3.0	100	150	2.0	20
	P_n	0.63	0.24	0.13	0.12	0.15	0.01
软体类	S_n	5.5	15	100	250	5.5	10
	P_n	0.20	0.06	0.12	0.08	0.05	0.01

3.3 红海湾生物体中重金属污染评价

单因子污染指数评价结果表明, 红海湾生物重金属总体污染水平较低, 大多数生物重金属均处于低污染状况和正常背景值范围内(表 4)。在 6 种重金属中, Cr 的污染最严重, 在鱼类和甲壳类中都属于中度污染, 在软体类属于轻度污染; Ni 在甲壳类属于轻度污染, 在鱼类和软体类中都属于正常背景值范围; Cu 在鱼类中属于轻度污染, 在甲壳类和软体类中属于正常背景值范围; Zn 在鱼类中属于轻度污染, 在甲壳类和软体类属于正常背景值范围; Cd 和 Pb 在鱼类和甲壳类以及软体类属于正常背景值范围内。

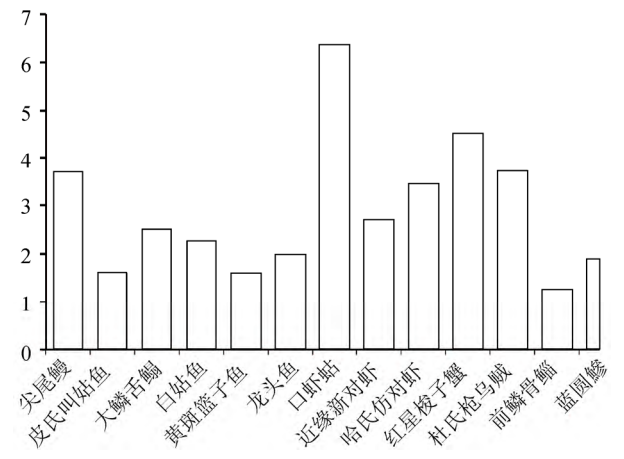


图 1 重金属含量综合评价 X_{MPI} 值
Fig. 1 The X_{MPI} values of comprehensive assessment of heavy metals

3.4 人体摄食红海湾海产品对重金属的暴露风险评估

许多国家和国际组织都对重金属的毒性与人体健康效应之间的关系开展了深入的研究, 并设立了重金属暴露健康风险评价指标^[16, 19-20]。本文采用的参考剂量评价标准如表 5 所示。

表 5 重金属的参考剂量

Tab. 5 Reference dose of heavy metals

标准限值/[$\mu\text{g}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$]	As ^a	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Pb
TDI	2.14	1	—	500	5	1000	3.57
RfD	0.3	1	3	40	50	300	—

注: a: 无机砷的平均浓度可按总砷的 10%估算^[21]; TDI(每日耐受摄入量): 根据 JECFA 的 PTWI 以及 PMTDI 等计算得出^[17]; RfD(重金属参考剂量): 美国环保署建立, 2011^[18]; “—”: 无对应标准。

表 6 红海湾生物消费所摄入重金属的人体日暴露量

Tab. 6 Daily exposure amounts of heavy metals intake by dietary consumption in Honghai Bay

样品名	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
尖尾鳎	0.43	0.90	2.13	7.33	1.62	0.02	0.16
皮氏叫姑鱼	0.40	0.43	1.70	2.87	0.87	0.00	0.02
大鳞舌鲷	0.47	0.61	2.25	5.41	2.54	0.02	0.05
白姑鱼	0.38	0.64	1.84	2.97	1.01	0.01	0.04
黄斑篮子鱼	0.31	0.06	1.27	2.64	0.42	0.01	0.02
龙头鱼	0.21	0.04	0.83	2.33	0.47	0.01	0.04
前鳞骨鲷	0.41	0.07	1.76	3.68	0.42	0.01	0.03
蓝圆鲹	0.40	0.29	2.15	4.48	0.84	0.02	0.03
口虾蛄	0.41	0.28	9.49	9.32	4.81	0.41	0.02
近缘新对虾	0.39	0.38	4.09	7.18	2.66	0.01	0.02
哈氏仿对虾	0.41	0.29	4.08	7.53	1.76	0.02	0.06
红星梭子蟹	0.37	0.23	4.46	7.40	1.61	0.10	0.06
杜氏枪乌贼	0.46	0.39	4.96	7.97	1.92	0.11	0.05

在中国香港地区, 居民对鱼类等海产品的摄入量大约为 $25\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ ^[14], 本文亦采用 $25\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ 为日常摄入量, 同时假定一个成年中国人体重为 60 kg , 用红海湾 13 种生物中 Cu、Zn、As、Cd、Cr 的浓度计算居民摄食海产品的重金属日暴露量, 计算得出 13 种生物的 E_m 值如表 6 所示。

由表 5 及表 6 可知, 口虾蛄中 As 的日暴露量超过了重金属参考剂量值, 表明食用口虾蛄可能会引起 As 的积累, 对人体健康造成威胁。其余 12 种生物的各种重金属的每日暴露量值都明显低于标准限值。这表明食用红海湾鱼类在 $25\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ 的剂量下不会对人体的健康带来重金属(Cr、Ni、Cu、Zn、Cd、As、Pb)危害风险。

4 结论

1) 红海湾生物重金属总体污染水平较低, 大多数生物重金属均处于低污染状况和正常背景值范围内。各类生物体内重金属有一定的差异, 甲壳类和软体类生物体内各种重金属含量为: $\text{Zn}>\text{Cu}>\text{Cr}>\text{Ni}>\text{Cd}>\text{Pb}$; 鱼类为 $\text{Zn}>\text{Cu}>\text{Ni}>\text{Cr}>\text{Pb}>\text{Cd}$ 。

2) 各类重金属中 Cr 的污染最严重, 在鱼类和

甲壳类中都属于中度污染; 在软体类属于轻度污染; Ni 在甲壳类属于轻度污染; Cu 在鱼类中属于轻度污染; Zn 在鱼类中属于轻度污染。

3) 人体暴露风险评估表明, 食用红海湾鱼类(口虾蛄除外)在 $25\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ 的剂量下不会对人体的健康带来重金属(Cr、Ni、Cu、Zn、Cd、As、Pb)危害风险, 红海湾口虾蛄中的 As 超过了食用的参考剂量, 需要引起重视。

4) 红海湾生物中口虾蛄积累重金属的能力最强, 各种生物富集重金属能力的大小顺序为: 口虾蛄>红星梭子蟹>杜氏枪乌贼>尖尾鳎>哈氏仿对虾>近缘新对虾>大鳞舌鲷>白姑鱼>龙头鱼>蓝圆鲹>黄斑篮子鱼>皮氏叫姑鱼>前鳞骨鲷。

参考文献

[1] 焦念志. 海湾生态过程与持续发展[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

[2] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志[M]. 北京: 海洋出版社, 1994.

[3] 黄小平, 郭芳, 黄良民. 大亚湾典型养殖区表层沉积物环境特征研究[J]. 热带海洋学报, 2008, 27(5): 37-42.

- [4] 贾晓平, 林钦, 甘居利, 等. 红海湾水产养殖示范区水质综合评价[J]. 湛江海洋大学学报, 2002, 22(4): 37–43.
- [5] 范文宏, 张博, 陈静生, 等. 锦州湾沉积物中重金属污染的潜在生物毒性风险评价[J]. 环境科学学报, 2006, 26(6): 1000–1005.
- [6] 乔永民, 黄长江, 赵建刚. 粤东柘林湾沉积物重金属富集特征与环境质量评价[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(003): 324–327.
- [7] 马元庆, 秦华伟, 李磊, 等. 海湾扇贝体内重金属含量研究[J]. 海洋湖沼通报, 2010(1): 47–51.
- [8] 李玉, 俞志明, 曹西华, 等. 重金属在胶州湾表层沉积物中的分布与富集[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(6): 580–589.
- [9] 李正华, 林建杰. 福建定海湾表层沉积物中重金属生态评价初步研究[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(1): 23–25.
- [10] DU LAING G, DE VOS R, VANDECASTEELE B, et al. Effect of salinity on heavy metal mobility and availability in intertidal sediments of the Scheldt estuary[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science 2008, 77(4): 589–602.
- [11] YU Xiujuan, YAN Yan, WANG Wenxiong. The distribution and speciation of trace metals in surface sediments from the Pearl River Estuary and the Daya Bay, Southern China[J]. Marine Pollution Bulletin 2010, 60(8): 1364–1371.
- [12] 李壮伟, 罗荣真, 陈鸿生, 等. 广东红海湾表层海水重金属含量的时空变化特征与污染水平评价[J]. 台湾海峡, 2012, 31(1): 20–26.
- [13] 甘居利, 林钦, 贾晓平, 等. 红海湾底质重金属分布与背景值探讨[J]. 热带海洋, 1999, 18(2): 64–71.
- [14] ZHANG Wei, WANG Wenxiong. Large-scale spatial and interspecies differences in trace elements and stable isotopes in marine wild fish from Chinese waters[J]. Journal of Hazardous Materials 2012, 215: 65–74.
- [15] YAP C K, ISMAIL A, TAN S G. Background concentrations of Cd, Cu, Pb and Zn in the green-lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus) from Peninsular Malaysia[J]. Marine Pollution Bulletin, 2003, 46(8): 1044–1048.
- [16] 全国海岸带办公室《环境质量调查报告》编写组. 中国海岸带和海涂资源综合调查专业报告文集[M]. 北京: 海洋出版社, 1989.
- [17] Joint Food and Agriculture Organization/World Health Organization Expert Committee on Food Additives. Summary and Conclusions of the 61st Meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives[C]. Rome, Italy, 2003.
- [18] United States Environmental Protection Agency. Risk-based concentration table[EB/OL]. [2013-11-14]. <http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/index.htm>.
- [19] USEPA. Guidance for assessing chemical contamination data for use in fish advisories, vol II: risk assessment and fish consumption limits[S]. Washington, DC, USA: In EPA 823-B94-004, 1994.
- [20] MARCELO A M, LUANA C R, RAQUEL F M, et al. As, Cd, Cr, Pb and Hg in seafood species used for sashimi and evaluation of dietary exposure[J]. Food Control, 2014, 36(1): 24–29.
- [21] US FDA/CFSAN & ISSC, Guidance documents[S]. Washington, DC, USA: Ch. II, 2007.